

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-145004

(43)Date of publication of application : 29.05.1998

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

H01L 33/00

(21)Application number : 08-311441

(71)Applicant : TOYODA GOSEI CO LTD  
AKASAKI ISAMU  
AMANO HIROSHI  
KAGAKU GIJUTSU SHINKO  
JIGYODAN

(22)Date of filing : 06.11.1996

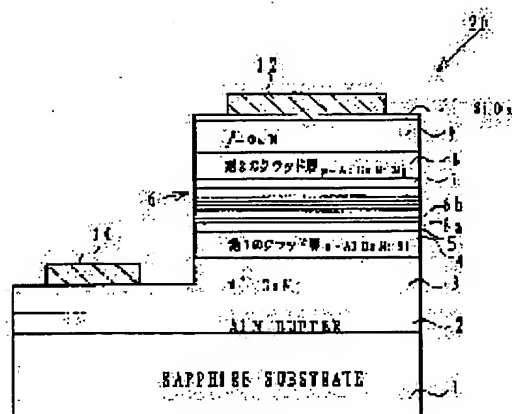
(72)Inventor : KOIKE MASAYOSHI  
NAGAI SEIJI  
YAMAZAKI SHIRO  
HIRAMATSU TOSHIO  
AKASAKI ISAMU  
AMANO HIROSHI

## (54) GAN SYSTEM LIGHT EMITTING ELEMENT

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a GaN based light emitting element which has a high confinement effect for carriers injected into a light emitting layer and is hard to develop cracks.

**SOLUTION:** A light emitting element is provided with a substrate 1, a light emitting layer 5, a first clad layer 3 and a second clad layer 7 which are so arranged as to sandwich the light emitting layer 5, and stopper layers 5 and 6 which are provided between the light emitting layer 5 and the first and second clad layers 3 and 7 and which prevent transmittance of carriers. Composition of Al in the stopper layer 6, its film thickness and composition of Al in the clad layer 7, its film thickness are properly regulated. For example the second stopper layer 6 is formed as  $\text{AlX}_2\text{Ga}_{1-\text{X}}\text{N}$ :  $\text{X}_2=0.1$  to  $0.5$ , the thickness is made to be 10 to 50nm, the second clad layer 7 is formed as  $\text{AlY}_2\text{Ga}_{1-\text{Y}}\text{N}$ :  $\text{Y}_2=0$  to  $0.15$  and the thickness is made to be 100 to 1000nm.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

29.08.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-145004

(43)公開日 平成10年(1998)5月29日

(51)IntCl.<sup>9</sup>

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数10 F D (全 10 頁)

(21)出願番号

特願平8-311441

(22)出願日

平成8年(1996)11月6日

(71)出願人 000241463

豊田合成株式会社

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
番地

(71)出願人 591014949

赤崎 勇

愛知県名古屋市西区浄心1丁目1番38-  
805

(71)出願人 591014950

天野 浩

愛知県名古屋市名東区山の手2丁目104  
宝マンション山の手508号

(74)代理人 弁理士 小西 富雅

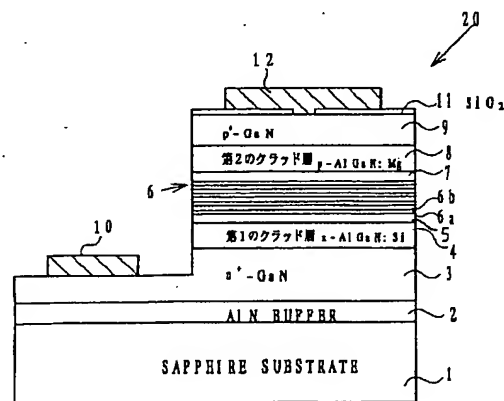
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 GaN系発光素子

(57)【要約】

【課題】 発光層に注入されたキャリアに対する閉じ込め効果が高くかつクラックが入り難くしたGaN系発光素子を提供する。

【解決手段】 基板1と、発光層5と、発光層5を挟むようにして配置された第1のクラッド層3及び第2のクラッド層7と、発光層5と第1及び第2のクラッド層3、7との間に設けられてキャリアの透過を防止するストッパ層4、6とを備えてなる発光素子において、ストッパ層におけるAlの組成とその膜厚、及びクラッド層のAlの組成とその膜厚を適当に調節する。例えば、第2のストッパ層6を $Al_{x2}Ga_{1-x2}N$ : $X2=0.1\sim 0.5$ で形成し、かつ厚さを10~50nmとし、第2のクラッド層7を $Al_{y2}Ga_{1-y2}N$ : $Y2=0\sim 0.15$ で形成し、かつその厚さを100~1000nmとする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 GaN系の化合物半導体で形成される発光素子であって、

基板と、

発光層と、

前記発光層を挟むようにして配置されたn伝導型のクラッド層及びp伝導型のクラッド層と、

前記発光層と前記p伝導型のクラッド層との間に形成されるストッパ層であって、該ストッパ層は前記発光層中のキャリアがこれを通り抜けることを実質的に防止するストッパ層と、を備えてなり、

前記ストッパ層は $Al_{x_2}Ga_{1-x_2}N$ ： $x_2=0.1\sim0.5$ からなり、かつ厚さが10～50nmであり、

前記p伝導型のクラッド層は $Al_{y_2}Ga_{1-y_2}N$ ： $y_2=0\sim0.15$ からなり、かつその厚さが100～1000nmであることを特徴とするGaN系発光素子。

【請求項2】 前記発光層と前記n伝導型のクラッド層との間に他のストッパ層が形成され、

該他のストッパ層は $Al_{x_1}Ga_{1-x_1}N$ ： $x_1=0.1\sim0.5$ からなり、かつ厚さが10～50nmであり、

前記n伝導型のクラッド層は $Al_{y_1}Ga_{1-y_1}N$ ： $y_1=0\sim0.15$ からなり、かつその厚さが100～1000nmであることを特徴とする請求項1に記載のGaN系発光素子。

【請求項3】 前記各ストッパ層は前記発光層に接して形成されていることを特徴とする請求項1又は2に記載のGaN系発光素子。

【請求項4】 前記発光層と前記n伝導型のクラッド層及びp伝導型のクラッド層との間にそれぞれ第1のガイド層と第2のガイド層が設けられていることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載のGaN系発光素子。

【請求項5】 GaN系の化合物半導体で形成される発光素子であって、

基板と、

発光層と、

前記発光層を挟むようにして配置された第1のクラッド層及び第2のクラッド層と、

前記発光層と前記第1のクラッド層との間及び前記発光層と前記第2のクラッド層との間の少なくとも一方に形成されるストッパ層であって、該ストッパ層は前記発光層中のキャリアがこれを通り抜けることを実質的に防止するストッパ層と、を備えてなり、

前記ストッパ層は $Al_xGa_{1-x}N$ からなり、但しAlの組成Xは前記発光層に最も近い部分で最も大きく、これから離れるに従って漸次減少し、前記発光層から最も離れた部分でその組成Xはクラッド層のAlの組成(0を含む)に実質的に等しく、かつその厚さが10～100nmであることを特徴とするGaN系発光素子。

【請求項6】 GaN系の化合物半導体で形成される発光素子であって、

基板と、

発光層と、

前記発光層を挟むようにして配置された第1のクラッド層及び第2のクラッド層と、

前記発光層と前記第1のクラッド層及び前記第2のクラッド層との間にそれぞれ設けられるガイド層と、

前記発光層と前記第1のガイド層との間及び前記発光層と前記第2のガイド層との間の少なくとも一方に形成されるストッパ層であって、該ストッパ層は前記発光層中のキャリアがこれを通り抜けることを実質的に防止するストッパ層と、を備えてなり、

前記ストッパ層は $Al_xGa_{1-x}N$ からなり、但しAlの組成Xは前記発光層に最も近い部分で最も大きく、これから離れるに従って漸次減少し、前記発光層から最も離れた部分でその組成Xはガイド層のAlの組成(0を含む)に実質的に等しく、かつその厚さが10～100nmであることを特徴とするGaN系発光素子。

【請求項7】 前記ストッパ層におけるAlの組成は連続して漸減することを特徴とする請求項5又は6に記載のGaN系発光素子。

【請求項8】 前記ストッパ層におけるAlの組成は階段状に漸減することを特徴とする請求項5又は6に記載のGaN系発光素子。

【請求項9】 GaN系の化合物半導体で形成される発光素子であって、

基板と、

発光層と、

前記発光層を挟むようにして配置された第1のクラッド層及び第2のクラッド層と、

前記発光層と前記第1のクラッド層との間及び前記発光層と前記第2のクラッド層との間の少なくとも一方に形成されるストッパ層であって、該ストッパ層は前記発光層中のキャリアがこれを通り抜けることを実質的に防止するストッパ層と、を備えてなり、

前記ストッパ層が $Al_{x_1}Ga_{1-x_1}N$ ： $x_1=0.1\sim0.5$ からなる第1のストッパ層と $Al_{x_2}Ga_{1-x_2}N$ ： $x_2=0\sim0.2$ からなる第2のストッパ層、但し $x_1>x_2$ 、を積層してなることを特徴とするGaN系発光素子。

【請求項10】 前記発光層と前記第1のクラッド層及び前記第2のクラッド層との間にそれぞれガイド層が設けられていることを特徴とする請求項9に記載のGaN系発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明はGaN系化合物半導体で形成された発光素子に関する。この半導体発光素子は例えばレーザダイオードや発光ダイオードとして利用できる。

【0002】

【従来の技術】可視光短波長領域の発光素子として化合物半導体を用いたものが知られている。中でもGaN系化合物半導体は直接遷移型であることから発光効率が高くかつ光の3原色の1つである青色を発光することから、昨今特に注目を集めている。

【0003】GaN系の発光素子では、発光層に注入されたキャリアの閉じ込めを当該発光層を挟むように形成される第1のクラッド層及び第2のクラッド層で行っていた。しかし半導体レーザのように発光層に対するキャリアの注入量が多くなると、クラッド層にはより高いキャリアの閉じ込めの機能が要求される。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】クラッド層によるキャリアの閉じ込め機能を高めるためには、クラッド層をより禁制帯幅（バンドギャップ）の広い材料で形成することが考えられる。GaN系化合物半導体では禁制帯幅を広くするためにAl（アルミニウム）の組成を大きくすることが考えられる。

【0005】しかしながら、本発明者らの検討によれば、Alの組成比を高くしてかつ光閉じ込めを十分確保するためにクラッド層を厚くすると、歪みが大きくなり、成長層にクラックが入りやすくなることがわかった。そこでこの発明は、キャリアに対する閉じ込め効果が高くかつクラッド層にクラックが入り難くしたGaN系発光素子を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】この発明は上記目的を達成するものであり、その構成は、GaN系の化合物半導体で形成される発光素子であって、基板と、発光層と、前記発光層を挟むようにして配置されたn伝導型のクラッド層及びp伝導型のクラッド層と、前記発光層と前記p伝導型のクラッド層との間に形成されるストッパ層であって、該ストッパ層は前記発光層中のキャリアがこれを通り抜けることを実質的に防止するストッパ層と、を備えてなり、前記ストッパ層は $Al_{x_2}Ga_{1-x_2}N$ ： $x_2=0.1\sim0.5$ からなり、かつ厚さが10～50nmであり、前記p伝導型のクラッド層は $Al_{y_2}Ga_{1-y_2}N$ ： $y_2=0\sim0.15$ からなり、かつその厚さが100～1000nmであることを特徴とする。

\*【0007】

【発明の作用・効果】このように構成された発光素子によれば、ストッパ層とp伝導型のクラッド層の組成及び厚さが適当に調整されているので、発光層に注入されたキャリア（電子）に対する閉じ込め効果が高く、成長層にはクラックが殆ど入らなくなる。

【0008】請求項2に記載の発明によれば、他のストッパ層とn伝導型のクラッド層の組成及び厚さが適当に調整されているので、発光層に注入されたキャリア（ホール）に対する閉じ込め効果が高く、成長層にはクラックが殆ど入らなくなる。

【0009】請求項3に記載の発明によれば、ストッパ層が発光層に接しているため、キャリアの閉じ込めを効率よく行える。

【0010】請求項4に記載の発明によれば、ガイド層が設けられるので、光を閉じ込める層の厚みが大きくなって、レーザ素子に適した構成となる。

【0011】請求項5～8に記載の発明によれば、ストッパ層におけるAlの組成を漸次変化させたので、ストッパ層に対するストレスが緩和、吸収されることとなり、クラックがより生じ難くなる。

【0012】請求項9及び10に記載の発明によれば、ストッパ層が複数の層から構成されるので、ストッパ層に対するストレスが緩和、吸収されることとなり、クラックの発生がより生じ難くなる。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の形態を実施例に基づき更に詳細に説明する。

#### 第1実施例

この実施例の半導体発光素子はレーザダイオードである。図1は実施例のレーザダイオード20の断面図である。このレーザダイオード20は基板1の上へ順に、バッファ層2、nコンタクト層3、第1のクラッド層4、第1のストッパ層5、発光層6、第2のストッパ層7、第2のクラッド層8を成長させた構成である。第2のクラッド層8の上にはpコンタクト層9が形成されている。

【0014】各半導体層のスペックは次の通りである。

半導体層	組成：ドーパント（膜厚）
バッファ層2	AlN (50nm)
nコンタクト層3	$n^+-GaN$ ：Si (4.0 $\mu$ m)
第1のクラッド層4	$n-Al_{0.08}Ga_{0.92}N$ ：Si (1 $\mu$ m)
第1のストッパ層5	$n-Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ ：Si (20nm)
発光層6	
量子井戸層6a	$In_{0.15}Ga_{0.85}N$ (50nm)
バリア層6b	GaN (50nm)
量子井戸層とバリア層の繰り返し数	5
第2のストッパ層7	$p-Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ ：Mg (20nm)
第2のクラッド層8	$p-Al_{0.08}Ga_{0.92}N$ ：Mg (1 $\mu$ m)

pコンタクト層9 :  $p^+-GaN:Mg$  (200nm)

【0015】なお、基板1はサファイア製であって、次の様にして調製される。有機洗浄及び熱処理により洗浄したa面を主面とする単結晶サファイア板を図示しない気相反応装置内のサセプタに装着する。次に、常圧で $H_2$ を流速2 liter/min で反応装置に流しながら温度1000℃でサファイア基板を30分間ベーキングする。

【0016】上記においてバッファ層2は一般式 $Al_{1-x}Ga_xN$ で表される非晶質の化合物半導体で形成することができる(特開平2-229476号公報参照)。

【0017】第1のクラッド層4はn伝導型の一般式 $Al_{y1}Ga_{1-y1}N$ : $Y1=0\sim0.15$ で表される化合物半導体で形成することができる。その厚さは100~1000nmとすることが好ましい。

【0018】第1のストッパ層5は一般式 $Al_{x1}Ga_{1-x1}N$ : $X1=0.1\sim0.5$ で表される化合物半導体により形成することができる。 $Al$ の組成 $X1$ が0.1に満たないと禁制帯幅が狭くなってキャリア閉じ込めの効果が充分でなくなる。 $Al$ の組成 $X1$ が0.5を超えるとクラックが生じやすくなる。またその膜厚は10~50nmとする。第1のストッパ層5の膜厚が10nmに満たないとキャリア閉じ込めの効果が充分でなくなる。その膜厚が50nmを超えるとクラックが生じやすくなる。この第1のストッパ層5は発光層6からホールが漏れ出ることを防止するものである。ホールは第1のクラッド層4の材料によっても比較的充分に閉じ込められるので、素子20に印加する定格の電圧が小さい場合等には、この第1のストッパ層5を省略することができる。

【0019】発光層6は図示のMQW型のものに限定されず、SQW型、バルク型のものなどを用いることができる。量子井戸層及びバリア層には意図的な不純物をドーピングしてもよいし、しなくてもよい。

【0020】第2のストッパ層7は一般式 $Al_{x2}Ga_{1-x2}N$ : $X2=0.1\sim0.5$ で表される化合物半導体により形成することができる。 $Al$ の組成 $X2$ が0.1に満たないと禁制帯幅が狭くなってキャリア閉じ込めの効果が充分でなくなる。 $Al$ の組成 $X2$ が0.5を超えるとクラックが生じやすくなる。またその膜厚は10~50nmとする。第2のストッパ層7の膜厚が10nmに満たないとキャリア閉じ込めの効果が充分でなくなる。その膜厚が50nmを超えるとクラックが生じやすくなる。

【0021】第2のクラッド層8はn伝導型の一般式 $Al_{y2}Ga_{1-y2}N$ : $Y2=0\sim0.15$ で表される化合物半導体で形成することができる。その厚さは100~1000nmとすることが好ましい。

【0022】各半導体層は周知の有機金属化合物気相成長法(以下、「MOVPE法」という。)により形成される(例えば、特開平6-268257号公報、特開平

8-97471号公報参照)。この成長法においては、アンモニアガスと三族元素のアルキル化合物ガス、例えばトリメチルガリウム(TMG)、トリメチルアルミニウム(TMA)やトリメチルインジウム(TMI)とを適当な温度に加熱された基板上に供給して熱分解反応させ、もって所望の半導体結晶を基板の上に成長させる。このMOVPE法を実行するための気相反応装置も周知である。例えば、特開昭63-188934号公報を参照されたい。

【0023】各半導体層を形成後、電子線照射装置を用いて、半絶縁物状態のコンタクト層9、第2のクラッド層8及び第2のストッパ層7へ一様に電子線を照射する。電子線の照射条件は、加速電圧約10kV、試料電流1 $\mu$ A、ビーム移動速度0.2mm/sec、ビーム径60 $\mu$ m $\phi$ 、真空度 $5.0 \times 10^{-5}$ Torrである。このような電子線照射によって層7~9は所望のp伝導型となる。

【0024】このようにして形成された半導体ウエハを周知の方法でエッチングして、図1に示した半導体層構成とする。次に、一様に酸化シリコン膜11をpコンタクト層9の上へ積層し、スリット状の窓を開ける。そして、この窓を介して、Au/Ni製の電極12をpコンタクト層9へ接続させる。この電極12は金属の蒸着、フォトレジストの塗布、フォトリソグラフィ工程、エッチング工程を経て形成される。一方、nコンタクト層3にはアルミニウムからなる電極10を蒸着により、定法にしたがい形成する。

【0025】このようにして形成された半導体ウエハを素子毎に切り分けて、所望のレーザダイオードとする。

【0026】この実施例のレーザダイオード20のエネルギーダイヤグラムを図2に示す。このエネルギーダイヤグラムからわかるとおり、実施例のレーザダイオード20によれば、第1及び第2のクラッド層4、8と発光層6との間に、各クラッド層4、8より大きなバンドギャップを有するストッパ層5、7が介在された。よって、発光層6に注入されたキャリアはより確実に当該発光層6内に閉じ込められることとなる。

【0027】この実施例ではキャリア閉じ込めの効果を最大とするために、第1及び第2のストッパ層5、7をそれぞれ発光層6に接するように形成したが、これらを各クラッド層4、8の内部、即ち発光層6から離して形成することもできる。

【0028】第2実施例

この実施例では、既述の第1の実施例においてストッパ層5、7を変更した。他の部分については第1の実施例のレーザダイオード20と同一であるのでその説明を省略する。

【0029】この実施例のレーザダイオードでは、図3に示すように、第1及び第2のストッパ層25、27のバンドギャップが発光層6に最も近い部分で最も高く、

10

20

30

40

50

発光層6から離れるに従って連続的に漸減し、発光層6から最も離れた部分ではそのバンドギャップが各クラッド層4、8と実質的に等しくなっている。バンドギャップの漸減の様子は図示した円弧状に限定されるものではなく、これを直線状、指数関数的変化等とすることが出来る。

【0030】このようにバンドギャップを変化させるには、各ストッパ層25、27におけるA1の組成を次のように変化させる。即ち、発光層6に最も近い部分のA1の組成Xを最も高くする（実施例では $X=0.2$ ）。発光層6から離れるに従ってA1の組成を連続的に漸減させ、発光層6から最も離れた部分即ち各クラッド層4、8に連続する部分ではA1の組成を各クラッド層4、8のそれに等しくする（実施例では $X=0.08$ ）。このようなA1の組成変化は、各ストッパ層25、27を結晶成長させるときに、原料ガスの供給を漸次変化させることにより行う。

【0031】ストッパ層におけるA1の組成が連続してかつ漸次変化して最終的にクラッド層の組成と等しくなっていると、ストッパ層とクラッド層との間の格子定数も連続してかつ漸次変化することとなる。したがって、第1実施例の構成に比べてクラッド層—ストッパ層間のストレスが緩和される。

#### 【0032】第3実施例

この実施例では、既述の第2の実施例においてストッパ層25、27を変更した。他の部分については第1の実施例のレーザダイオード20と同一であるのでその説明を省略する。

【0033】この実施例のレーザダイオードでは、図4に示すように、第1及び第2のストッパ層35、37のバンドギャップの変化が階段状にされている。即ち、発光層6に最も近い部分で最も高く、発光層6から離れるに従って階段状に漸減し、発光層6から最も離れた部分ではそのバンドギャップが各クラッド層4、8と実質的に等しくなっている。このようにバンドギャップを変化させるには、各ストッパ層35、37におけるA1の組成を次のように変化させる。即ち、発光層6に最も近い部分のA1の組成Xを最も高くする（実施例では $X=0.2$ ）。発光層6から離れるに従ってA1の組成を階段状に漸減させ、発光層6から最も離れた部分即ち各クラッド層4、8に連続する部分ではA1の組成を各クラッド層4、8のそれに等しくする（実施例では $X=0.08$ ）。このようなA1の組成変化は、各ストッパ層35、37を結晶成長させるときに、原料ガスの供給を階段状に変化させることにより行う。

【0034】ストッパ層におけるA1の組成が階段状にかつ漸次変化して最終的にクラッド層の組成と等しくなっていると、ストッパ層とクラッド層との間の格子定数も階段状にかつ漸次変化することとなる。したがって、第1実施例の構成に比べてクラッド層—ストッパ層間の

ストレスが緩和される。

#### 【0035】第4実施例

この実施例では、既述の第1の実施例においてストッパ層5、7を変更した。他の部分については第1の実施例のレーザダイオード20と同一であるのでその説明を省略する。

【0036】この実施例のレーザダイオードでは、図5に示すように、第1及び第2のストッパ層45、48がいわゆる超格子構造とされている。図6に第1のストッパ層45のエネルギーダイヤグラムの拡大図を示し、図7に第2のストッパ層47のエネルギーダイヤグラムの拡大図を示す。図6に示すように、この実施例の第1のストッパ層45は、第1の部分455と第2の部分456から構成される。第1の部分455は膜厚がほぼ1000Åのn-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nからなる第1の障壁層451及び膜厚がほぼ100Åのn-GaNからなる第1の井戸層452を積層してなる。第2の部分456は膜厚がほぼ200Åのn-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nからなる第2の障壁層453及び膜厚がほぼ20Åのn-GaNからなる第2の井戸層454の10組を繰り返し積層してなる。

【0037】このような第1のストッパ層45は、MOVPE法を実行するにあたり、原料ガスの供給量を適宜変化させることにより形成される。

【0038】上記において、第1の部分455が主としてキャリアのトンネル成分を防止し、第2の部分456で高エネルギーのキャリアを反射させる。第2の部分456はクラッド層4とのストレスを緩和する機能も担う。これにより、高いキャリア閉じ込め機能を維持してクラックの生じがたい素子を提供できることとなる。

【0039】第1の障壁層451は一般式 $n-Al_{x1}Ga_{1-x1}N$ で表される化合物半導体で形成される。意図的な不純物はドーブしてもよいし、しなくてもよい。そのA1の組成X1は $X1=0.1\sim0.5$ とすることが好ましい。その膜厚は1~50nmとすることが好ましい。第1の井戸層452は一般式 $n-Al_{x2}Ga_{1-x2}N$ で表される化合物半導体で形成することができる。意図的な不純物はドーブしてもよいし、しなくてもよい。そのA1の組成X2は $X2=0\sim0.2$ とすることが好ましい。その膜厚は1~50nmとすることが好ましい。

【0040】第2の障壁層453は一般式 $n-Al_{x3}Ga_{1-x3}N$ で表される化合物半導体で形成される。意図的な不純物はドーブしてもよいし、しなくてもよい。そのA1の組成X3は $X3=0.1\sim0.5$ 、 $X3=X1$ を含む、とすることが好ましい。その膜厚は1~10nmとすることが好ましい。第2の井戸層454は一般式 $n-Al_{x4}Ga_{1-x4}N$ で表される化合物半導体で形成することができる。意図的な不純物はドーブしてもよいし、しなくてもよい。そのA1の組成X4は $X4=0\sim0.2$ とすることが好ましい。

15、 $X_4 = X_2$ を含む、とすることが好ましい。その膜厚は1~10nmとすることが好ましい。第2の障壁層453と第2の井戸層454との繰り返し数は3~20とすることが好ましい。

【0041】図7に示すように、この実施例の第2のストッパ層47は、第1の部分475と第2の部分476から構成される。第1の部分475は膜厚がほぼ100オングストロームの $p\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ からなる第1の障壁層471及び膜厚がほぼ100オングストロームであり、 $p\text{-Ga}\text{N}$ からなる第1の井戸層472を積層してなる。第2の部分476は膜厚がほぼ20オングストロームの $p\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ からなる第2の障壁層473及び膜厚がほぼ20オングストロームであり、 $p\text{-Ga}\text{N}$ からなる第2の井戸層474の10組を繰り返し積層してなる。

【0042】このような第2のストッパ層47は、MOVPE法を実行するにあたり、原料ガスの供給量を適宜変化させることにより形成される。

【0043】上記において、第1の部分475が主としてキャリアのトンネル成分を防止し、第2の部分で高エネルギーのキャリアを反射させる。第2の部分476は第2のクラッド層8とのストレスを緩和する機能も担う。これにより、高いキャリア閉じ込め機能を維持してクラックの入りにくい素子を提供できることとなる。

【0044】第1の障壁層471は一般式 $p\text{-Al}_{X5}\text{Ga}_{1-X5}\text{N}$ で表される化合物半導体で形成される。意図的な不純物はドーピングしてもよいし、しなくてもよい。そのAlの組成 $X_5$ は $X_5 = 0.1 \sim 0.5$ とすることが好ましい。その膜厚は1~50nmとすることが好ましい。第1の井戸層472は一般式 $p\text{-Al}_{X6}\text{Ga}_{1-X6}\text{N}$ で表される化合物半導体で形成することができる。意図的な不純物はドーピングしてもよいし、しなくてもよい。そのAlの組成 $X_6$ は $X_6 = 0 \sim 0.2$ とすることが好ましい。その膜厚は1~50nmとすることが好ましい。

【0045】第2の障壁層473は一般式 $p\text{-Al}_{X7}\text{Ga}_{1-X7}\text{N}$ で表される化合物半導体で形成される。意図的な不純物はドーピングしてもよいし、しなくてもよい。そのAlの組成 $X_7$ は $X_7 = 0.1 \sim 0.5$ 、 $X_7 = X_5$ を含む、とすることが好ましい。その膜厚は1~10nmとすることが好ましい。第2の井戸層474は一般式 $p\text{-Al}_{X8}\text{Ga}_{1-X8}\text{N}$ で表される化合物半導体で形成することができる。意図的な不純物はドーピングしてもよいし、しなくてもよい。そのAlの組成 $X_8$ は $X_8 = 0 \sim 0.15$ 、 $X_8 = X_6$ を含む、とすることが好ましい。その膜厚は1~10nmとすることが好ましい。第2の障壁層473と第2の井戸層474との繰り返し数は3~20とすることが好ましい。

【0046】第5実施例

この実施例では、第4の実施例においてストッパ層45、47の第2の部分を変更した。他の部分については

第4の実施例のレーザダイオードと同一であるので同一の符号を付してその説明を省略する。

【0047】この実施例のレーザダイオードでは、図8に示すように、ストッパ層55、57の第2の部分556、576において、クラッド層4、8に連続する部分のバンドギャップが、第2実施例のストッパ層と同様に、連続して漸減している。これにより、ストッパ層55、57とクラッド層4、8の間のストレスが更に緩和されることとなる。

10 【0048】第6実施例

第6実施例のレーザダイオード30を図9に示す。図1のレーザダイオードと同一の部分には同一の符号を付してその説明を省略する。この実施例のレーザダイオード30は第1のクラッド層4と第1のストッパ層5との間に第1のガイド層13が設けられ、第2のストッパ層7と第2のクラッド層8との間に第2のガイド層14が設けられている。このガイド層13及び14は発光層6で発光した光の閉じ込めをするものである。

【0049】第1のガイド層13及び第2のガイド層14のスペックは次の通りである。

半導体層 : 組成: ドーパント (膜厚)

第1のガイド層13:  $n\text{-Ga}\text{N}:\text{Si}$  (100nm)

第2のガイド層14:  $p\text{-Ga}\text{N}:\text{Mg}$  (100nm)

この第1及び第2のガイド層13及び14も定法にしたがいMOVPE法により形成される。

【0050】この第1のガイド層13は $n$ 伝導型の一般式 $\text{Al}_{Z1}\text{Ga}_{1-Z1}\text{N}$  ( $Z_1 = 0$ を含む)で表される化合物半導体で形成することができる。

【0051】第2のガイド層14は $P$ 伝導型の一般式 $\text{Al}_{Z2}\text{Ga}_{1-Z2}\text{N}$  ( $Z_2 = 0$ を含む)で表される化合物半導体で形成することができる。

【0052】この実施例のレーザダイオード30におけるストッパ層65、67のエネルギーダイアグラムを図10に示されている。図からわかるとおり、このストッパ層65及び67は第2実施例のストッパ層25、27と同種のものである。

【0053】即ち、第1及び第2のストッパ層65、67のバンドギャップが発光層6に最も近い部分で最も高く、発光層6から離れるに従って連続的に漸減し、発光層6から最も離れた部分ではそのバンドギャップが各ガイド層13、14と実質的に等しくなっている。このようにバンドギャップを変化させるには、各ストッパ層65、67におけるAlの組成を次のように変化させる。即ち、発光層6に最も近い部分のAlの組成 $X$ を最も高くする(実施例では $X = 0.2$ )。発光層6から離れるに従ってAlの組成を連続的に漸減させ、発光層6から最も離れた部分即ち各ガイド層13、14に連続する部分ではAlの組成を各ガイド層13、14のそれに等しくする(実施例では $X = 0$ )。このようなAlの組成変化は、各ストッパ層65、67を結晶成長させるとき



に、原料ガスの供給を漸次変化させることにより行う。このようにストッパ層におけるA1の組成が連続してかつ漸次変化して最終的にガイド層の組成と等しくなっていると、ストッパ層とガイド層との間の格子定数も連続してかつ漸次変化することとなる。したがって、ガイド層—ストッパ層間のストレスが緩和される。

#### 【0054】第7実施例

この実施例では、既述の第6の実施例においてストッパ層65、67を変更した。他の部分については第6の実施例のレーザダイオード30と同一であるのでその説明を省略する。

【0055】この実施例のレーザダイオードでは、図11に示すように、第1及び第2のストッパ層75、77のバンドギャップの変化が階段状にされている。

【0056】即ち、発光層6に最も近い部分で最も高く、発光層6から離れるに従って階段状に漸減し、発光層6から最も離れた部分ではそのバンドギャップが各ガイド層13、14と実質的に等しくなっている。このようにバンドギャップを変化させるには、各ストッパ層75、77におけるA1の組成を次のように変化させる。即ち、発光層6に最も近い部分のA1の組成Xを最も高くする（実施例では $X=0.2$ ）。発光層6から離れるに従ってA1の組成を階段状に漸減させ、発光層6から最も離れた部分即ち各ガイド層13、14に連続する部分ではA1の組成を各ガイド層13、14のそれに等しくする（実施例では $X=0$ ）。このようなA1の組成変化は、各ストッパ層75、77を結晶成長させるときに、原料ガスの供給を階段状に変化させることにより行う。ストッパ層におけるA1の組成が階段状にかつ漸次変化して最終的にガイド層の組成と等しくなっていると、ストッパ層とガイド層との間の格子定数も階段状にかつ漸次変化することとなる。したがって、ガイド層—ストッパ層間のストレスが緩和される。

#### 【0057】第8実施例

この実施例では、既述の第6の実施例においてストッパ層65、67を変更した。他の部分については第6の実施例のレーザダイオード30と同一であるのでその説明を省略する。

【0058】この実施例のレーザダイオードでは、図12に示すように、第1及び第2のストッパ層85、87がいわゆる超格子構造とされている。このストッパ層85及び87の構成は第4実施例のストッパ層45及び47と実質的に同じであるのでその説明を省略する。換言すれば、第4実施例のストッパ層45、47を図9に示したレーザダイオード30に適用してこの実施例のレーザダイオードを構成した。同様に、第5実施例のストッパ層55、57を図9に示したレーザダイオード30に適用することもできる。

【0059】各実施例において、ストッパ層は発光層6に連続して形成されているが、これらを発光層6から離

して、クラッド層又はガイド層13、14の内部に設けることもできる。また、各実施例において、n伝導型の第1のクラッド層若しくは第1のガイド層と発光層との間に設けられるストッパ層はこれを省略することができる。

【0060】各実施例の第1及び第2のストッパ層、第1及び第2のクラッド層、第1及び第2のガイド層及び発光層には意図的な不純物をドーピングしてもよいし、ドーピングしなくてもよい。

【0061】この発明は上記発明の実施の形態及び実施例の記載に何ら限定されるものではなく、特許請求の範囲を逸脱しない範囲で、当業者が想到し得る種々の変形態様を包含する。この発明が発光ダイオードにも適用できることは勿論である。

【0062】以下、次の事項を開示する。

(11) GaN系の化合物半導体で形成される発光素子であって、基板と、発光層と、前記発光層を挟むようにして配置された第1のクラッド層及び第2のクラッド層と、前記発光層と前記第1のクラッド層との間及び前記発光層と前記第2のクラッド層との間の少なくとも一方に形成されるストッパ層であって、該ストッパ層は前記発光層中のキャリアがこれを通り抜けることを実質的に防止するストッパ層と、を備えてなるGaN系発光素子。

【0063】(12) 前記ストッパ層は前記発光層に接して形成されていることを特徴とする(11)に記載のGaN系発光素子。

【0064】(13) 前記発光層と前記第1のクラッド層及び第2のクラッド層との間にそれぞれ第1のガイド層と第2のガイド層が設けられていることを特徴とする(11)又は(12)に記載のGaN系発光素子。

【0065】(14) 前記第1のストッパ層と前記第2のストッパ層がそれぞれ複数あり、かつそれらが繰り返して積層され、前記第1のストッパ層において前記発光層に最も近い層が他の第1のストッパ層より厚く形成されていることを特徴とする請求項9又は10に記載のGaN系発光素子。

【0066】(15) 前記他の第1のストッパ層は実質的に同じ厚さであることを特徴とする(14)に記載のGaN系発光素子。

【0067】(16) 前記第2のストッパ層において前記発光層に最も近い層は他の第2のストッパ層より厚く形成され、該他の第2のストッパ層は実質的に同じ厚さであることを特徴とする(15)に記載のGaN系発光素子。

【0068】(17) 前記第1のストッパ層において前記発光層に最も近い層と前記第2のストッパ層において前記発光層に最も近い層とは実質的に同じ厚さであり、前記他の第1のストッパ層と前記他の第2のストッパ層とは実質的に同じ厚さであることを特徴とする(16)

に記載のGaN系発光素子。

【0069】(18)前記第1のストップ層において前記発光層に最も近い層の膜厚は前記他の第1のストップ層の膜厚の3~10倍であることを特徴とする(17)に記載のGaN系発光素子。

【0070】(19)前記他の第1のストップ層と前記他の第2のストップ層との繰り返し数は3~20であることを特徴とする(18)に記載のGaN系発光素子。

【0071】(20)前記ストップ層は、膜厚がほぼ100オングストロームの $Al_{X1}Ga_{1-X1}N$ : $X1=0.1\sim0.5$ からなる第1のストップ層及び膜厚がほぼ100オングストロームの $Al_{X2}Ga_{1-X2}N$ : $X2=0\sim0.2$ からなる第2のストップ層を積層してなる第1の部分と、膜厚がほぼ20オングストロームの前記 $Al_{X1}Ga_{1-X1}N$ からなる第3のストップ層及び膜厚がほぼ20オングストロームの前記 $Al_{X2}Ga_{1-X2}N$ からなる第4のストップ層の10組を繰り返し積層してなる第2の部分と、但し $X1>X2$ 、から構成されることを特徴とする(11)ないし(13)のいずれかに記載のGaN系発光素子。

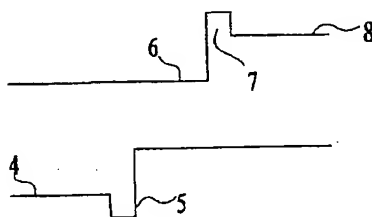
【0072】(21) $Al_{X3}Ga_{1-X3}N$ からなる第3のストップ層が更に備えられ、該第3のストップ層においてAlの組成X3は前記発光層に最も近い部分で最も大きく、これから離れるに従って漸次減少し、前記発光層から最も離れた部分でその組成X3はクラッド層又はガイド層のAlの組成(0を含む)に実質的に等しく、前記第1、第2及び第3のストップ層はこの順に前記発光層側から積層されていることを特徴とする請求項9又は10に記載のGaN系発光素子。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1はこの発明の一の実施例のレーザダイオードの構成を示す断面図。

【図2】図2は同実施例のレーザダイオードのエネルギーダイヤグラム。

【図2】



【図3】図3は他の実施例のレーザダイオードのエネルギーダイヤグラム。

【図4】図4は他の実施例のレーザダイオードのエネルギーダイヤグラム。

【図5】図5は他の実施例のレーザダイオードのエネルギーダイヤグラム。

【図6】図6は同他の実施例のレーザダイオードの第1のストップ層部分のエネルギーダイヤグラムの拡大図。

【図7】図7は同他の実施例のレーザダイオードの第2のストップ層部分のエネルギーダイヤグラムの拡大図。

【図8】図8は他の実施例のレーザダイオードのエネルギーダイヤグラム。

【図9】図9は他の実施例のレーザダイオードの構成を示す断面図。

【図10】図10は同他の実施例のレーザダイオードのエネルギーダイヤグラム。

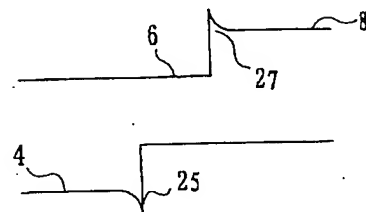
【図11】図11は他の実施例のレーザダイオードのエネルギーダイヤグラム。

【図12】図12は他の実施例のレーザダイオードのエネルギーダイヤグラム。

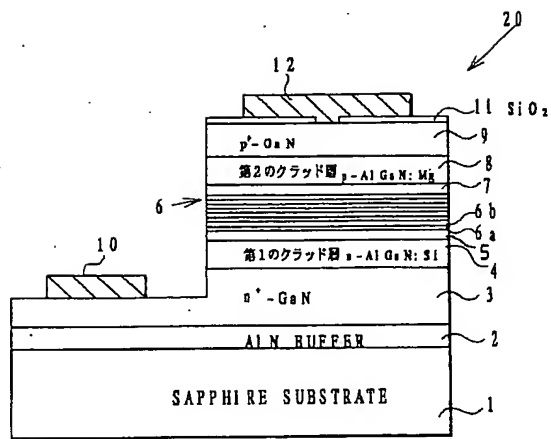
【符号の説明】

- 1 サファイア基板
- 2 バッファ層
- 4 第1のクラッド層
- 5、25、35、45、55、65、75、85 第1のストップ層
- 6 発光層
- 7、27、37、47、57、67、77、87 第2のストップ層
- 8 第2のクラッド層
- 13、第1のガイド層
- 14、第2のガイド層
- 20、30 レーザダイオード

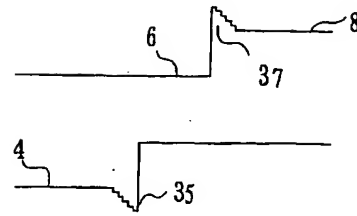
【図3】



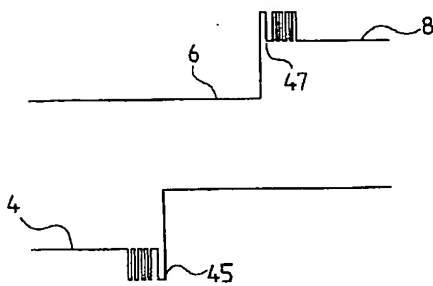
【図1】



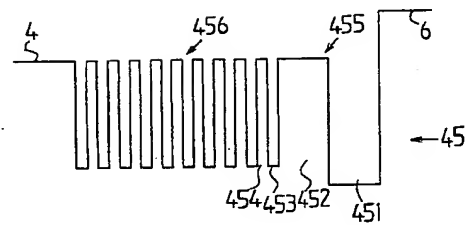
【図4】



【図5】

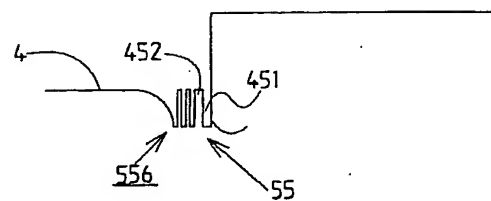
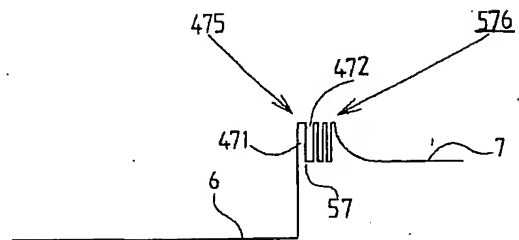
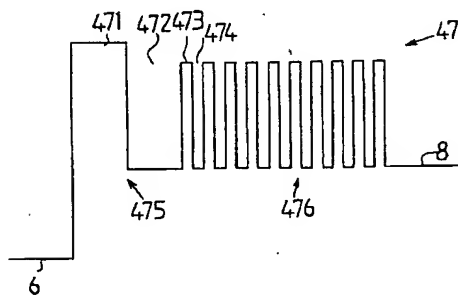


【図6】

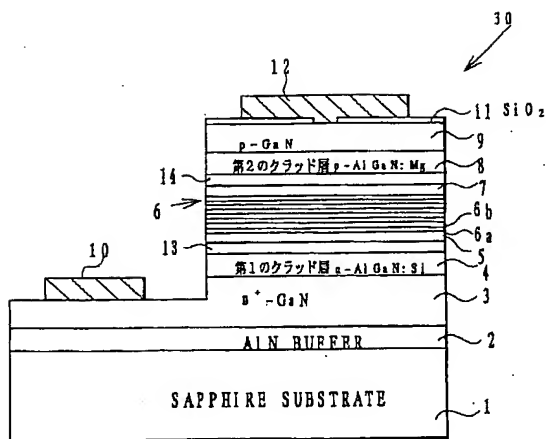


【図8】

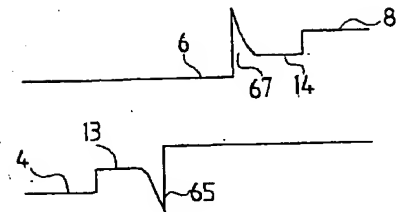
【図7】



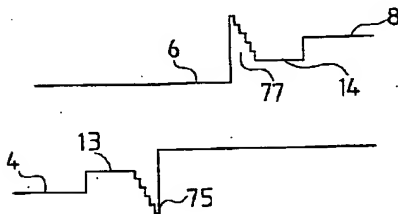
【図9】



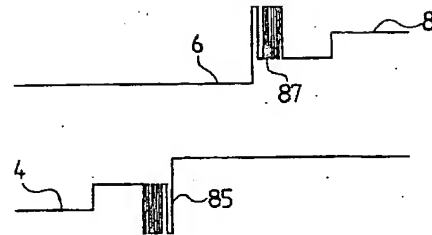
【図10】



【図11】



【図12】



## フロントページの続き

(71)出願人 396020800  
 科学技術振興事業団  
 埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72)発明者 小池 正好  
 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
 番地 豊田合成株式会社内

(72)発明者 永井 誠二  
 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
 番地 豊田合成株式会社内

(72)発明者 山崎 史郎  
 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
 番地 豊田合成株式会社内

(72)発明者 平松 敏夫  
 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
 番地 豊田合成株式会社内

(72)発明者 赤崎 勇  
 愛知県名古屋市西区浄心1丁目1番38-  
 805

(72)発明者 天野 浩  
 愛知県名古屋市名東区山の手2丁目104  
 宝マンション山の手508号